

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-153268

(43)Date of publication of application : 06.06.2000

(51)Int.Cl.

C02F 1/30
B02C 19/18
C02F 11/12

(21)Application number : 10-331225

(71)Applicant : EBARA CORP

(22)Date of filing : 20.11.1998

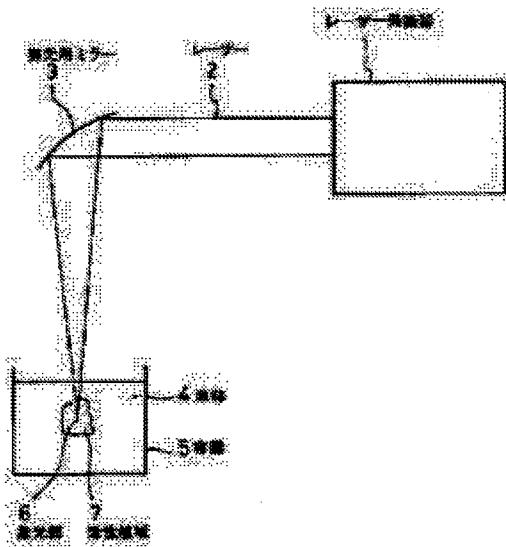
(72)Inventor : HATAKEYAMA MASAKI
KUNITOMO SHINTA
IGARASHI CHIAKI
YAMAUCHI KAZUO

(54) TREATMENT OF LIQUID AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a means for treating liquid, which enables to dehydrate sludge in a high dehydration efficiency without using chemicals, to sterilize without using the chemicals and to treat without using a large power.

SOLUTION: The liquid treating method is a method for converging laser 2 in a liquid to be treated to cause break down (dielectric break down) in the liquid 4. Plasma, radical, UV light and impulse are generated by the break down and the treatment is performed by the plasma, radical, UV light and impulse. The laser 2 is preferably scanned. As the laser 2, any one of the followings; pulse laser, Q-switching pulse laser, ultraviolet laser or laser exited by sunlight is used. The liquid to be treated is a solution containing bacteria or a solution containing sludge.



(51)Int.Cl.⁷

C 02 F 1/30

B 02 C 19/18

C 02 F 11/12

識別記号

F I

C 02 F 1/30

B 02 C 19/18

C 02 F 11/12

データコード(参考)

4 D 0 3 7

B 4 D 0 5 9

E 4 D 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全11頁)

(21)出願番号 特願平10-331225

(22)出願日 平成10年11月20日(1998.11.20)

(71)出願人 000000239

株式会社荏原製作所

東京都大田区羽田旭町11番1号

(72)発明者 岩山 雅規

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 國友 新太

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(74)代理人 100073874

弁理士 萩野 平 (外3名)

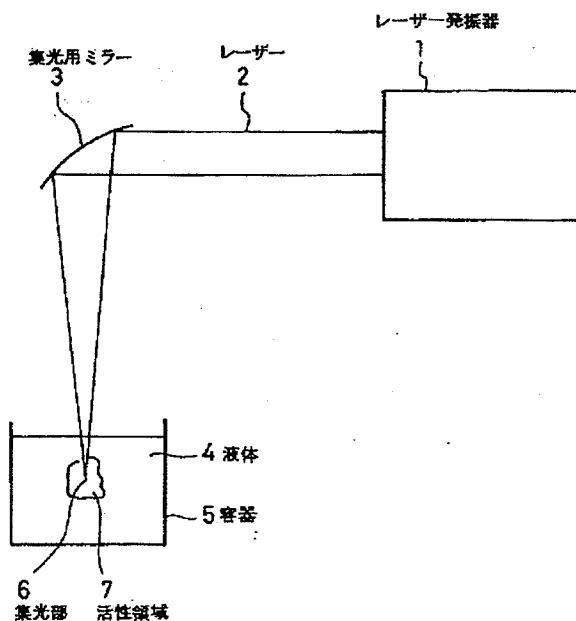
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 液体処理方法及び装置

(57)【要約】

【課題】 薬品を使用しないで高い脱水効率で汚泥を脱水処理したり、薬品を使用しないで殺菌処理ができるとか、大電力を必要とせずに処理することができる液体を処理する手段を提供する。

【解決手段】 被処理液体にレーザーを収束させて、液体中でブレイクダウン(絶縁破壊)を起こすことを特徴とする液体処理方法。ブレイクダウン(絶縁破壊)によってプラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波を発生させ、該プラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波によって処理を行う。前記レーザーを走査(スキャニング)するが好ましい。前記レーザーとしてパルスレーザー、Qスイッチングパルスレーザー、紫外線レーザー又は太陽光励起のレーザーのいずれかを用いる。前記被処理液体が細菌が含有している溶液や、汚泥を含有する溶液である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被処理液体にレーザーを収束させて、液体中でブレイクダウン(絶縁破壊)を起こすことを特徴とする液体処理方法。

【請求項2】 ブレイクダウン(絶縁破壊)によってプラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波を発生させ、該プラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波によって処理を行うことを特徴とする請求項1記載の液体処理方法。

【請求項3】 前記レーザーを走査(スキヤニング)する事を特徴とする請求項1又は請求項2記載の液体処理方法。

【請求項4】 前記レーザーとしてパルスレーザー、Qスイッチングパルスレーザー、紫外線レーザー又は太陽光励起のレーザーのいずれかを用いる事を特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載の液体処理方法。

【請求項5】 前記被処理液体が細菌が含有している溶液であり、前記レーザーにより該細菌を死滅させる処理を行うことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項記載の液体処理方法。

【請求項6】 前記被処理液体が汚泥を含有する溶液であり、前記レーザーにより該汚泥を分解し、汚泥体積を減少させることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項記載の液体処理方法。

【請求項7】 前記レーザーにより被処理液体中にある物体を破碎することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項記載の液体処理方法。

【請求項8】 前記レーザーにより液体に接する容器壁面や建造物壁面への生物付着を抑制することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項記載の液体処理方法。

【請求項9】 レーザー発生装置、前記レーザー発生装置からのレーザーを、被処理液体中でブレイクダウン(絶縁破壊)を起こすに十分な強度で被処理液体に収束させる装置を有することを特徴とする液体処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザーを利用して液体中に含まれる汚泥の脱水処理、滅菌処理、スケルや固形物の破碎、また生物付着防止を、多量に効率よく行う技術であり、液体処理技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、汚泥の脱水処理においては、下水等の活性汚泥法からの余剰汚泥に高分子凝集剤を添加し、遠心分離機等により汚泥を脱水することが行われており、その際汚泥と高分子凝集剤との添加割合を適正にすることが脱水処理を効率良く行うために必要であるとされている。例えば、特開平5-168977号公報では、遠心脱水機内部にフロック汚泥をつくるないようにし、かつ薬注率が多くならないようにするために、流量比率演算機を用い、粘度測定器を用いて制御しているが、その遠心脱水機には特開昭60-206458号公

報等に示されている遠心分離機を使用している。

【0003】 また、大量の淡水または海水を用いる発電所や工場では、取水管その他の水管に水生生物が付着して繁殖し流路面積を狭める。例えば、大量の海水を冷却水として利用している原子力発電所または火力発電所では、水生生物が機器、配管および冷却水管に付着し、これが成長して繁殖することにより、取水量の減少、熱交換器やポンプなどの効率低下および損傷などの各種障害を引き起こしている。そのため、上記のような付着性を有する各種水生生物の付着、成長および繁殖を防止することが必要である。従来行われてきた水生生物の付着防止方法には、化学的処理方法、物理的処理方法および機械的処理方法がある。先ず、化学的処理方法としては、過酸化水素や次亜塩素酸などを用いる薬液注入法、防汚塗装、電解法および銅イオン法などがある。しかし、これらの方法に共通する問題として、使用する化学物質あるいは生成した化学物質の毒性が指摘され、この毒性による環境汚染が問題視されている。

【0004】 つぎに、物理的処理方法としては、温水処理法、淡水処理法、温風干出処理法、電撃法、超音波法、紫外線照射法などがある。しかし、温水処理法、淡水処理法および温風干出処理法を実施する際には、冷却水系を一時停止させなければならないが、冷却水系を一時停止させることは発電プラントなどでは大きな問題がある。また、電撃法では、水管内全域に約800V/cm程度の電界強度を必要とし、連続処理による消費電力は多大である。超音波法では、水管壁を損傷する可能性がある。機械的処理方法には、マイクロストレーナーによる幼生の進入防止法、水中ロボットによる付着貝類などの除去法、スポンジボールやウォータージェットによる付着幼生の除去法、さらには工具などを使用しての入手による作業法などがある。

【0005】 また、水の殺菌処理に関しては、前記した紫外線照射法が良く使用されている。紫外線は、水に対する殺菌剤として知られている。従来では一連の紫外線バルブのバンクを用意し、処理されるべき水をバルブの表面上に流すのが一般的であった。この方法には数々の欠点がある。第一に紫外光の強度がバルブ部の表面からの距離によって変化することである。従って、バルブを通過する水の全てに対して充分な強度の紫外線を与えるために、バルブを極めて接近して配置したり、あるいは特別なバルブアレイを用いたりしなければならなかつた。その様な方法を探ってさえも、バルブを流れる水流を比較的遅くして、適切な紫外光量が水に与えられるようにならなかつた。また、バルブを近接して配置するとかなりの水頭損失を生じた。第2に、バルブは皮膜が付いたり疊つたりする傾向があるので、これにより紫外光の強度が弱められる。この問題に対する一つの解決策は、バルブに皮膜が付いた後であってもなお適切な強度の紫外光が得られるように、紫外光の強度を始

めに必要とされるものよりも増大させることであった。第三に、懸濁された粒子に付着しているバクテリアは、この粒子によって光源から遮断されると紫外線にさらされない可能性が有ることである。

【0006】殺菌のために現在通常用いられているバルブ又はランプに加えて紫外光の光源としては種々のものがある。謝意領域の光を放射しうる光源の一つとして、適当に選ばれたレーザー励起ガスによるレーザーがある。排水の殺菌のために謝意光を発生させるレーザーを用いることは従来提案されていなかった。レーザーは、流速、又は混濁度、有機物質含有量のような水又は他の液体の特性のような数々の動作上の利点を有する事が判明した。レーザーは高い強度の紫外光を発生させることができるので、水の流速を早めることができ、水頭損失を少なくし、混濁度の高い水に対しても適応し、バクテリアが紫外光にさらされない可能性を減少させる。

【0007】水処理手段の一つとしては、前記した方法の他に、水中パルス放電による処理方法が知られている。この処理方法は、水中に、電極を設置し、高電圧・高電力でのパルス放電を液体中で起こすことにより、付随して発生するプラズマ・UV光・ラジカル・衝撃波により、水処理を行うものである。これらの、プラズマ・UV光・ラジカル・衝撃波を用いて、殺菌・汚泥・固体物破碎等の水処理に用いられる。殺菌・汚泥処理では、プラズマ・UV光・ラジカル・衝撃波を用いた処理が行われる。これらの現象を複合的に用いると、効果的な処理が可能となる。UVだけでは、殺菌や細胞壁破損がされにくい微生物では、プラズマ・ラジカル・衝撃波の効果が重複されることにより効果的な処理が可能となる。固体物破碎では、衝撃波を用いた処理となる。一対の電極により発生した衝撃波が、再び別の場所で集束出来るような容器を用いて、その再集束点に固体物を設置して、集束された衝撃波によって、該固体物の破碎を行うのである。衝撃波は、集束することにより衝撃波の強度が高まり、つまり、圧力変動が大きくなり、固体物への照射時において、圧力変動が大きくなり、破碎される。

【0008】ところで、特開平5-168977号公報では、前記したように汚泥の脱水技術において、遠心脱水機を用い、薬注率が多くならないようにするために、流量比率演算機を用い、粘度測定器を用いて制御しているが、その汚泥の脱水技術について脱水率をさらに改善するために、特開平8-57475号公報では、汚泥水にレーザーを照射し、レーザーにより汚泥の細胞壁を破壊すれば、それによって汚泥の脱水効率を上げることができるという提案をしている。また、水の殺菌に関しては、特開昭61-263690号公報の発明は、水の殺菌においてレーザーを効率的かつ効果的に用いる方法を示している。紫外線スペクトルを放射するレーザーの殺菌能力は、副次的な光化学効果よりも主として直接接触によるバクテリアを殺すことにある。これらの副次的な

効果もバクテリアを殺す効果を有するかもしれないが、殺菌工程では、消極的な効果しか持たない。特開昭61-263690号公報の発明の方法及び装置は特に水の処理に適するものであるが、水をベースとしたあるいは水をベースとしない液体を含む一般的な液体の殺菌にも用いることができる。このように、水処理に関連してレーザーを利用しようという試みが盛んにされようとしている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】前記の汚泥の脱水においては、凝集剤などの薬品を使用する固液分離方法では、分離された液体は、そのまま排出されるが、固体を含む汚泥は、遠心分離機を通過後も脱水ケーキ中にかなりの水分を含む。現在の脱水機の技術分野では、脱水機本体と凝集剤の開発が進んでいるが、脱水ケーキの水分の減少は不十分であり、それ以上の減少は現状技術では困難である。これは、汚泥中に存在する微生物の細胞液が残存水分として大きな割合を占めているからで、脱水が困難であることが大きな原因である。

【0010】また、火力発電所等における水生生物の付着の問題では、装置の大型化、繁雑なメンテナンスの必要性、細配管内の処理法としての不適正および多大の作業労力と時間が問題であり、また除去後に生ずる水生生物を主体とした廃棄物の処理にも苦慮している。従来のレーザー処理技術では、レーザー照射強度が低く、またそのレーザーが照射される箇所も管路流の一部に限られた処理となっている。例えば、特開平8-164188号公報の図C-1の様な方式では、11のレーザー透過窓の大きさ以下でレーザー強度が分布を持った状態での光照射となってしまう。従って、光照射を受けないものや弱い照射になる領域が生じる。また、流速が早い場合には、照射時間が短いので殺菌効果が小さくなる。この問題の解決では、多数回の旋回によるレーザー照射を行う必要がでてくるが、そのため装置の大型化が必要となったり、レーザー強度の到達距離を上げるために、大出力レーザーが必要となり、高いコストが必要となる。また、多数の微生物が存在する状況では、微生物同士が重なり合った状態でレーザー照射を受ける。従ってはじめに受けた微生物の殺菌効果は高いが、入射側から見て背面になっている微生物では、照射強度が下がるために殺菌効果の現象が起こる。更に、建築物などでは、時間が立つと、レーザー照射後の流路（レーザーの当たらない場所）において新たに、微生物の繁殖や輸送が考えられる。

【0011】殺菌法についていうと、従来のレーザー光照射を用いる場合の問題点は、光強度が低いので殺菌効果が小さい。また、光が当たった部分しか効果が発揮されないので、場所が制約されてしまう。殺菌効果を発揮するために、紫外線レーザーを用いる制約がある。さらに、水中パルス放電による処理技術においては、この処

理法では、電極が設置されている付近しか効果がないこと、多量処理のために、多大な電極及び大きな出力電源が必要となり、高いコストとなる。また、放電時に、電極材料が溶け出す問題がある。溶出した金属を分離回収するなどの追加手段がさらに必要となる。また、長時間の使用により、電極面での汚染物の付着などにより、正常放電が維持できなくなったりするため、メンテナンスに対して高いコストが掛かる。

【0012】 上述したように、解決されるべき要点として以下のことが挙げられる。

汚泥処理：汚泥の脱水処理において、従来、凝集剤等の薬品を大量に使用しなければならなかった。また、脱水効率が悪く、汚泥の低水分ケーキを造ることが困難であった。

また、水中パルス放電の場合では、多量の電極と大電力量が必要であり、効果領域の制限や電極材料の溶け出しによる金属回収後処理工程追加などの複雑工程化がある。

殺菌処理：紫外線レーザーに限られた使用方法である。また、光強度が低く、高出力にするためには、非常に高いコストとなる。また、流れがある場での処理なので、単位流量当たりの照射量・光強度が低く、処理効果が低い。

【0013】 また、水中パルス放電の場合では、多量の電極と大電力量が必要であり、効果領域の制限や電極材料の溶け出しによる金属回収後処理工程追加などの複雑工程化がある。

水生生物付着防止：従来、機械による方式では、装置の大型化、複雑なメンテナンスの必要性、細配管内の処理法としての不適性および多大の作業労力と時間が問題であり、また除去後に生ずる水生生物を主体とした廃棄物の処理にも苦慮している。レーザーによる方法でも、従来の方法では、処理領域が限られてしまう、また、光強度が低く、処理効果が弱い等の課題がある。

固体物破碎：主に衝撃波を用いた処理となつたが、従来は、水中放電による衝撃波が用いられる。この方法では、水中放電のための電極が必要で、該電極の溶け出しによる水汚染や電極表面の汚染による不安定動作の出現があり、メンテナンスの煩雑さが挙げられる。このように、レーザーを適用するに当たってはこれらの問題点を解消できるようにしなければならない。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明者は、水処理のみならず広く液体処理に有効な手段を検討したところ、レーザーによる処理が共通して用いられているところから、レーザーによる処理に着目したが、従来のレーザーによる処理では処理効果が小さいという欠点があり、従来この手段は実用化されていなかった。しかし、本発明者は、レーザーによる処理技術について研究し、レーザーによってブレイクダウン（絶縁破壊）を起こすことによ

り大きい処理効果が得られることを見いだし、それにより処理効果が大きいレーザーによる処理技術を開発したものである。

【0015】 すなわち、本発明は、下記の手段により前記の課題を解決した。

(1) 被処理液体にレーザーを収束させて、液体中でブレイクダウン（絶縁破壊）を起こすことを特徴とする液体処理方法。

(2) ブレイクダウン（絶縁破壊）によってプラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波を発生させ、該プラズマ、ラジカル、UV光及び衝撃波によって処理を行うことを特徴とする前記(1)記載の液体処理方法。

(3) 前記レーザーを走査（スキャニング）する事を特徴とする前記(1)又は(2)記載の液体処理方法。

(4) 前記レーザーとしてパルスレーザー、Qスイッチングパルスレーザー、紫外線レーザー又は太陽光励起のレーザーのいずれかを用いる事を特徴とする前記(1)～(3)のいずれか1項記載の液体処理方法。

【0016】 (5) 前記被処理液体が細菌が含有している溶液であり、前記レーザーにより該細菌を死滅させる処理を行うことを特徴とする前記(1)～(3)のいずれか1項記載の液体処理方法。

(6) 前記被処理液体が汚泥を含有する溶液であり、前記レーザーにより該汚泥を分解し、汚泥体積を減少させることを特徴とする前記(1)～(5)のいずれか1項記載の液体処理方法。

(7) 前記レーザーにより被処理液体中にある物体を破碎することを特徴とする前記(1)～(5)のいずれか1項記載の液体処理方法。

(8) 前記レーザーにより液体に接する容器壁面や建造物壁面への生物付着を抑制することを特徴とする前記(1)～(5)のいずれか1項記載の液体処理方法。

(9) レーザー発生装置、前記レーザー発生装置からのレーザーを、被処理液体中でブレイクダウン（絶縁破壊）を起こすに十分な強度で被処理液体に収束させる装置を有することを特徴とする液体処理装置。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明では、液体処理にレーザーを用いる際して、レーザーにより被処理液体にレーザー誘起ブレイクダウン（絶縁破壊）を起こさせ、その作用を利用するところが特徴であり、この点が従来のレーザー利用技術と基本的に相違するところである。すなわち、本発明では、レーザー誘起ブレイクダウン（絶縁破壊）の作用を利用しているのであって、単に、レーザー光を液体に照射するのではない。光度の高いレーザー光が集束され高エネルギー密度状態が達成されて初めて、レーザーのブレイクダウンが実現できるのである。このレーザーブレイクダウンが起こると、レーザーを単に照射しただけの場合とは異なる物理・化学現象が液体（溶液）中で起こり、それをを利用して、効率の良い液体処理

を行うことが本発明の特徴である。

【0018】レーザーブレイクダウンにつき以下において詳しく述べる。レーザー光を集光し、局所的に非常に高い電界強度が達成され、およそ 10^{10} W/cm^2 を越えると、原子中の電子は、激しい振動が起こり、脱離する。又、同時に分子の解離が起こり、プラズマ及びラジカルが形成されるのである。このときレーザーの集光した部分に高圧力・高密度・高温状態が形成されるため、それによる衝撃波も形成されるのである。更に、上述のプラズマ、ラジカル、そして衝撃波の形成に伴って、UV光（その他、可視光や赤外光も当然発生している）の発生も起こる。この様な現象は、分子の多光子吸収及び電子の高周波放電機構等の理論によって解説されている。場合によっては、キャビテーションやX線の発生が起こる場合がある。なお、従来のレーザー照射による処理（特開平8-57475号）でもレーザーの集光が行われているが、レーザーの出力が僅か50Wであるため、レーザーブレイクダウンが起こるようなものではない。

【0019】レーザーブレイクダウンにおけるプラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波の基本的作用を以下に述べる。レーザーブレイクダウンの領域では、高密度の光エネルギーが集中し、高温・高密度・高圧力状態になり、プラズマ・UV光・ラジカル・衝撃波が形成される。以下、それぞれの作用について説明する。

プラズマ：プラズマ中にはイオン（正／負イオン）、電子が存在し、原子や分子の高い励起を行い、固体物や有機物の原子・分子の結合破壊、液体分子の解離、そして光放出作用を行う。従って、高い化学的反応作用や副次的に強力な加熱状態を発生する。特に、イオンの存在により、化学反応効果が著しく向上する。プラズマ中のイオンとラジカルとしては、例えば水を考えると、H, O Hのイオンやラジカルが存在する。また、より強力なプラズマが発生する場合では、H, H₂, O, O₂, OH種のイオンやラジカルが存在する。これらは、殺菌や細胞膜の溶解に高い効果を発生する。

【0020】ラジカル：プラズマと光励起によって発生する。主に、分子の解離と原子・分子の励起による活性化によって形成されている。例えば、H₂O（水分子）では、HとOHに分解され、OHは、特に高い殺菌作用と無機物・有機物の溶解作用を発生する。

UV光：原子・分子の光励起及びプラズマ励起により、発生する。UV光は殺菌効果を有する。また、固体や有機物の原子間結合の緩和や破壊に効果を及ぼす。

衝撃波：衝撃波通過前後において、流体の圧力、密度、温度の急激な変化を発生する。この急激な変化によって、殺菌、細胞膜等有機物の破壊、固体の破壊に効果を及ぼす。このプラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波は、レーザーが集光された狭い領域、例えば、 $10 \times 10 \mu \text{m}^2$ の領域に集光されて、ブレイクダウンが生じたとき

には、その領域だけに発生するだけではなく、その周囲領域にまでその発生が起き、体積比で100倍以上の領域まで、液体処理効果を及ぼすことができる。

【0021】本発明によるレーザーブレイクダウンを用いて液体処理を行う場合の作用及びそれによる効果について、さらに詳しく述べる。

1) レーザーブレイクダウンを用いて液体処理を行うと、非接触で液体を処理することが可能である。つまり、水中パルス放電のように、液体中における電極等の固体物が不要である。また、この工程においては化学薬品等の混入物が不要である。つまり、例えば、従来の水中放電や機械式処理方式で必要となる電極の腐食や溶けだしによるメンテナンスや金属回収や薬液分離等の後処理等の工程を不要または簡略化でき、コストや効率に高い効果を与える。本発明では、レーザー光の入射だけが液体中に行われるため、その制御は全て処理される液体とは分離された場所で行うことができる。従って、制御が液体に関係なく行えるので制御性が良い。電極や薬品が必要なものでは、液体中での電極表面状態や薬品の混合状態・反応状態に大きく影響される制御系となるので、制御性が本発明と比較して悪い。

【0022】2) レーザーブレイクダウンによって、プラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波が発生する。これらを利用して、液体処理を行う。これらの効果を利用すると、レーザーが集光された狭い領域に限らず、レーザー集光領域の周囲に影響が及ぶため、有効な影響領域を拡大することができる。図8に、レーザーブレイクダウンの原理図を示す。レーザー2が集光され、集光部6に集光スポットAが形成され、そこで高エネルギーによりレーザーブレイクダウンが生じるが、その周囲にプラズマ生成領域B、ラジカル生成領域C、さらにその外側に衝撃波領域Dが形成され、周囲から衝撃波29が出て行く。

3, 4) レーザーを走査することにより、レーザーブレイクダウンが発生する場所を変更することができるため、処理される液体に対して、広い範囲の液体に効果を及ぼすことができる。つまり、大面積、大容量の処理を効率よく行うことができる。近年では、レーザーのパルス発振は、10KHz～1MHz程度まで可能となっており、この技術を利用すると、レーザーブレイクダウンを10KHz～1MHzで行えるのである。つまり、1秒間に、10000回～100000回レーザーブレイクダウンを起こすことができ、走査により場所を少しずつ変化させることにより、液体の全領域に処理効果を及ぼすことが可能となるのである。

【0023】このとき、特にQスイッチングジャイアントパルスレーザーを用いると効率的である。Qスイッチングジャイアントパルスレーザーでは、ピーク値の高いレーザー発振が可能となるため、より高いエネルギー密度を実現することが可能となる。例えば、ルビーレーザ

一では、通常発振のパルスレーザーでは、 $1 \mu s$ で $KW / c m^2$ レベルの出力であるが、Qスイッチングジャイアントパルスレーザーでは、パルス幅 $25 n s$ でピーク出力 $40 MW / c m^2$ 程度が実現できる。また、チタンサファイアレーザーで、長短パルスレーザーとして、 $100 fs$ パルス、 $150 \mu J$ エネルギー、波長 $790 nm$ のチタンサファイアレーザーでは、 $1 TW / c m^2$ 以上の集光領域のエネルギー密度を得ることが出来る。この様な高出力密度は、連続発振方式では困難である。通常、連続発振に比べ、パルス発振の方が高いピーク出力を得ることが出来る。おおよそ、通常のパルス発振では数十倍、Qスイッチングでは更に高いピーク出力が得られる。この様に高いピーク出力を得られると、レーザーブレイクダウンが起こった場合に、強いプラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波が得られるため、強い処理効果が得られる。

【0024】5) レーザーとして、紫外線レーザーを用いることができる。紫外線レーザーとして、例えば、エキシマレーザー、ルビーレーザー、窒素レーザー、Nd:YAGの高調波(4倍波)レーザー等を用いることができる。この様に、レーザーブレイクダウンを起こすレーザー自体が紫外線であると、比較的に、波長のエネルギーが高く、容易にレーザーブレイクダウンを起こしやすい。また、紫外線効果による液体処理をより効果的に行うことができる。例えば、殺菌や汚泥処理に対しては、レーザーとして紫外線レーザーを用いるとそれ自体が紫外線殺菌作用や細胞ダメージ作用を発揮するので、より効率的である。

【0025】6) レーザーとして、太陽光励起のレーザーを用いることができる。これにより、エネルギー効率が飛躍的に高まり、低エネルギー供給のレーザー液体処理システムの実現ができる。レーザー発振器では、通常、ランプ励起や放電が多い。この使用電力を少なくするため、本発明では太陽光励起のレーザー発振器を用いるのが好ましい。

Nd:YAGレーザー等の固体レーザーやCO₂等のガスレーザー等では、この様な太陽光励起レーザー発振器の実現が可能である。連続的な処理を行うシステムでは、ランプ励起との併用方式を用いる。また、晴れた日の処理ですむ頻度であれば、太陽光励起システムのみでも良い。

【0026】7) 被処理液体として細菌を含有している液体を処理する場合には、強力な殺菌効果を得ることができる。単に、UV光の照射やレーザー光の照射に比べ、高密度のレーザーエネルギーを与えて処理できるだけでなく、付随して発生するプラズマ・ラジカル・UV光そして衝撃波を併用する処理となる。また、液体中に電極などの固体物及びその溶け出しによる悪影響がない。また、この工程では薬品の使用がないので、後処理工程も簡便となるなどコストや効率の面でメリットが大

きい。

【0027】8) 汚泥を含有する溶液の処理においては、従来の脱水処理の問題点は、脱水率を上げることができないことがある。この主な原因是、付着している微生物の細胞が破壊されず細胞液が脱水できないことがあると考えられている。本発明では、強力な細胞破壊効果を有するため、効率よく汚泥含有の液体処理を行うことができる。レーザーブレイクダウンでは、高密度のレーザーエネルギーを与えて細胞破壊処理を実現するだけでなく、付随して発生するプラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波を利用して、レーザー集光域の周辺にまで、強力な細胞破壊効果を及ぼすことができる。また、レーザーを走査して、処理領域を拡大することができる。このレーザーブレイクダウンによる方法により、通常の機械式処理方法に比べて、脱水効率が $150 \sim 200\%$ ないしそれ以上向上するという優れた結果が得られた。

【0028】9) レーザーブレイクダウンを用いて液体中で固体物の破壊処理を行うと、破壊物の飛散を押さえられるなどのメリットがある。従来、電極による電気パルス放電による衝撃波がこの破壊処理に用いられている。このとき、電極の腐食・破損・電極材料の溶けだしが問題となり、後処理工程を煩雑化させる要因となる。本発明のように、レーザーブレイクダウンによると、それによって発生する衝撃波のみでなく、直接レーザーエネルギーを被破壊物に照射でき、より緻密な破壊が可能となる。また、電極のメンテナンスが不要である。非接触で作用できる制御性が良い。後処理工程が簡便となる等のメリットがある。本発明では、この固体物としては、具体的には、パソコン、車などをチップ化した処理物(大きさ $10 \times 10 cm$)やコンクリート塊

(大きさ \times 数 cm)などが考えられる。これらの破碎分解により、例えばICチップより金の回収を行ったり、コンクリートと鉄筋を分離して、鉄筋を回収することなどを行う。また有害物(例えばICチップや回路などに用いられたナマリやGaN等)を分離して、外界に拡散しないように回収処理を行うことができる。

【0029】10) レーザーブレイクダウンを用いて、水生生物含有溶液の殺傷処理や海岸壁に付着する貝等の付着防止において、著しい効果を発揮することができる。レーザーブレイクダウンによると、水生生物に対して強い殺傷ダメージを与えることができるので、特に稚生物への強い殺傷ダメージを与えることができる。また、成長した貝などの付着防止には、身体ダメージを与えることができる。また、走査により、任意の領域に照射できるので、処理したい流体量の全てに対して均一に効果を及ぼすことが出来る。これらは、レーザーブレイクダウンによる衝撃波を主に用いて効果を発生できる。また、薬品や電極などを用いないので、それらによる水質汚染の心配もない。

【0030】

【実施例】以下実施例により本発明を具体的に説明する。ただし、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではない。

【0031】実施例1

図1に実施例1の概要を示す。図1では、レーザー発振器1から出たレーザー2は集光ミラー3で集光され、容器5内の液体4中で集光部6を形成し、レーザーブレイクダウンを起こし、その周囲にプラズマ等を生起した活性領域7を形成する。レーザーとしては、パルス発振のCO₂レーザー、発振波長10.6 μm、ビーム径30 mm、1 kW～10 kWの出力制御可能、10～1 kHzのパルス発振が可能であるものを使用した。レーザー発振器から発振されたビームは、集光ミラーによって容器内の溶液中に導かれて集光する。前記容器内には、殺菌処理又は汚泥処理をするための溶液が入っている。この溶液中に該レーザー集光によって、下記に示す大きさの高エネルギー密度に達することにより、ブレイクダウンがパルス的に起こり、それによって、プラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波が生じる。これらの作用によって、液体処理が行われる。

【0032】集光領域は、直径φ50 μm領域で、光強度は3.6 TW/c m²以上となる。この高エネルギー密度によって液体のブレイクダウンがおきて、上述のプラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波が生じる。これらは、集光領域よりも広い領域にまで到達し、プラズマが、体積率で100～1000倍、ラジカルが、1000倍～100000倍の領域に達することが出来る。また、UV光と衝撃波は、1000000倍以上の領域にまで到達する。この様な現象の複合効果により、有効な作用領域が広がり、容器全体に対して、作用を及ぼすことが出来る。また、作用が限られる場合には、光学系を移動させて、容器内液体全体に作用を及ぼすことが出来る。

【0033】ここで用いるレーザーとしては、CO₂レーザーに代えて、COレーザー、YAG (Nd:YAG等) レーザー、Arイオンレーザー、ガラスレーザー、エキシマレーザー、ルビーレーザー、N₂レーザー、チタンサファイアレーザー、ヨウ素レーザー、H₂Oレーザー、HFレーザー、色素レーザー、半導体レーザー等を用いても同様に行うことができる。処理した液体として、下記の2種の場合を示す。

1) 水の殺菌の場合：水には酵母菌・放線菌・糸状菌・細菌・原生植物・藻類等が含まれている。この様な水に上述のレーザーブレイクダウンを行い、殺菌を行うことが出来る。

2) 汚泥処理の場合：水溶液に汚泥が含まれている。脱水処理の前に、上述のレーザーブレイクダウンによる微生物の細胞破壊を行い、脱水効率を飛躍的に上げることが出来る。汚泥の脱水においては、通常の機械式脱水機

を用いたときの脱水ケーキを対象とする際の脱水率は重量割合で、上水を対象とする場合80～60%、下水を対象とする場合85～70%であるが、これらにレーザーブレイクダウンを行ったときには、汚泥の脱水効率は前記の場合に比して150～200%向上する。

【0034】実施例2

図2に示すように、汚泥を含む水溶液又は殺菌を行う必要のある水が流路に流されているときに、集光したレーザーによりレーザーブレイクダウンを起こさせて、汚泥処理又は殺菌処理を行う。図2において、レーザー発振器1から出たレーザー2は、反射ミラー8で光路を変え、ハーフミラー9で一部が集光・走査ミラー10へ行き、下の液体の流れ12に入り、液体中でレーザーブレイクダウンを起こさせ、またレーザー2の残りは集光・走査ミラー11で下の液体の流れ12に入り、そこでもレーザーブレイクダウンを起こさせるので、レーザーブレイクダウンを起こさせる箇所を2箇所とすることができる。レーザーは、Qスイッチのジャイアントパルスレーザーで、ビーム径30 mm、出力は、パルス幅25 ns、ピーク出力40 MW/c m²、繰り返し周波数100 kHzで照射を行う。

【0035】図2に示すように、放出されたレーザー2は、ハーフミラー9によって2つのビームに分かれて、2ヶ所で液体処理を行う。これは、繰り返し処理を行うことで、より処理レベルを上げるためにある。ハーフミラー9によって反射された一つのビームが集光・走査ミラー10で反射して、ビームの集光を行なう。このとき、集光・走査ミラー10の走査を行い、流路を流れる液体に漏れなくブレイクダウンの効果が及ぶようになる事が出来る。また、残りのビームは集光・走査ミラー11で反射して、ビームの集光を行い、ミラーの走査により同様に流路を流れる液体に漏れなくブレイクダウンの効果が及ぶようになる事が出来る。この図は、断面ではあるが、実際には流路の断面に対して、走査を行うので、図3の斜視図にみる様に処理を行うことが出来る。この図では、ブレイクダウンを場所を変えて行い単位時間に流れる液体の全てにブレイクダウンによる処理効果を及ぼすことが可能となる。これは、流速、焦点距離、走査速度の制御により可能となる。

【0036】また、より処理効果を高めるため、多重処理を行うための光学系が設けられている。それが、2段目(下流側)のレーザーブレイクダウンである。ビームの走査及びブレイクダウンは上述と同様に行なう。レーザーとして、より高出力のエキシマレーザーを用いて、効果を向上させることもできる。また、コストを低く押さえるために、CO₂レーザーやYAGレーザーを用いることもできる。図4の方式を用いることもできる。この方法では、流路絞り機構15により流体の通過面積を小さくする。液体が通過した直後付近にレーザーブレイクダウンを行いつつビームの走査を行う。液体が絞られた

断面積を通過していくので、狭い領域のブレイクダウンをビーム走査を行うことにより、通過する液体に対して漏れなくブレイクダウンの効果を与えることが出来る。流路が絞られることにより液体の流速が早くなるが、レーザーの走査速度に比べると無視できる。

【0037】実施例3

この実施例は、レーザー発振器に、太陽光励起とランプ励起の併用によるハイブリッドシステムレーザーを用いることが特徴である。実施例1及び2の様な例に対して、このハイブリッドシステムのレーザーを用いると、使用電力が著しく減らすことが出来るので、より低コスト化を実現できる。レーザーは、Nd:YAGレーザーであるYAGレーザーの励起を太陽光で行うため、図5に示すように、太陽光集光器17及び反射ミラー18を用いて、太陽光16を集光し、YAGレーザー共振器ミラー1からYAGロッド21に導入し、光励起を行う。励起されたYAGロッド(又はスラブ)21中の金属イオンNdはレーザー波長の1.06μm波長の光を放出し、レーザー共振器22の第1共振器ミラー及び第2共振器ミラー(図示せず)によって、光が誘導放出によって増幅されレーザービームが第2共振器ミラーより放出される。第2共振器ミラーには、Qスイッチジャイアントパルスレーザー発振のための機構が設けられている。従って、放出されるレーザービームはQスイッチジャイアントパルスレーザーである。また、太陽光不足によって太陽光励起によるレーザー出力が不足する場合には、ランプ励起を併用して、必要な出力を達成することができる。

【0038】この様にして放出されたレーザーは反射ミラー8と集光用ミラー3によって集光され、該集光部が被処理液体4中に導かれる。この液体中の集光部において、ブレイクダウンが起こり、プラズマ・ラジカル・UV光・衝撃波が発生して、液体の処理を行う。処理としては、殺菌、汚泥処理を行うことが出来る。このとき、ビームの走査や光学系の移動機構を設けて、液体全体に処理効果を及ぼすこととも可能である。

【0039】実施例4

生物付着防止の実施例である。図6に示すように、発電所や工場などの取水口23付近において、水生付着物の浮遊生活期幼生を殺傷し、取水流路における水生生物の付着を防止する。水生生物として、カキ・ムラサキガイ・ふじつぼ等が対象として考えられる。CO₂レーザーやNd:YAGレーザーのQスイッチジャイアントパルスレーザーを用いる。集光ミラー、集光・走査ミラーや集光レンズを用いてレーザービームを集光してブレイクダウンを発生する。取水口の直前付近においてブレイクダウンを起こす。このときビームの走査を行うことによって処理領域の拡大や効果の向上を行うことができる。また、ランプ励起と太陽光励起のハイブリッドシステムレーザーを用いることによって、晴れた日は太陽光励起

方式を行い、また、太陽光励起で出力の不足する場合には、ランプ励起を併用して、使用電力を低減することができる。

【0040】実施例5

水中における固体物破碎の例である。図7に示すように、液体(水)中に試料台27の上に被破碎物28が設置され、集光レンズ25により該被破碎物28に集光されたレーザービームを照射して被破碎物28の破碎を行う。このとき、移動機構26により集光部の位置移動制御を行う。被破碎物付近から位置を移動して、被破碎物の中心部に徐々に集光部の移動を行う。これは、先ず被破碎物付近においてブレイクダウンを行い主に衝撃波において表面に亀裂を発生させ、ブレイクダウン発生位置を被破碎物中心部に移動させることにより、より効果的な破碎を行う。レーザーとしては、実施例1～4までに述べた様なレーザーを用いることが出来る。特にQスイッチジャイアントパルスレーザーを用いると効果的・効率的である。

【0041】

- 20 【発明の効果】本発明によれば、レーザーブレイクダウンにより、プラズマ・ラジカル・衝撃波などの発生を伴うため、下記のような優れた効果が得られる。
- ① 汚泥の脱水処理を行った場合、脱水効率が従来に比べて150～200%ないしそれ以上と優れた効率が得られる。
 - ② 殺菌のために行った場合、殺菌効率が高い他、広い範囲に作用し、幅広い流路を流れる液体について高い殺菌作用を与えることができ、多量の薬品を使用する必要は全くない。
 - ③ 生物付着防止処理についても、強い作用をし、かつ広い範囲に作用し、スキャンニングすれば相当広い範囲について、生物付着防止の効果が得られる。
 - ④ 固体物破壊の作用も有しており、有害物或いは有価物を含むものから、有価物を回収したり、有害な物質を外界に出さないようにすることができる。
 - ⑤ 使用する電力は水中パルス放電などに比すると、著しく少なく、薬品を使用する必要がなく、電極に使用した金属の溶け出し等の問題もない。

【図面の簡単な説明】

- 40 【図1】レーザーを液体中に集光してレーザーブレイクダウンを起こす説明図を示す。
- 【図2】レーザーを2箇所以上に分けて集光して流れる液体中にレーザーブレイクダウンを起こす説明図を示す。
- 【図3】図2における流路の液体に対するレーザーの集光部の移動状態を説明する斜視図を示す。
- 【図4】流路に液体に対する流路絞りを設置した場合のレーザーブレイクダウンの生起状態の説明図を示す。
- 【図5】太陽光励起レーザーを用いた場合のレーザー照射状況の説明図を示す。

【図6】冷却水などの取水口にレーザー照射を行う場合のレーザー照射状況の説明図を示す。

【図7】水中における固体物破碎を行う場合のレーザー照射状況の説明図を示す。

【図8】レーザープレイクダウンの原理図を示す。

【符号の説明】

- 1 レーザー発振器
- 2 レーザー
- 3 集光ミラー
- 4 液体
- 5 容器
- 6 集光部
- 7 活性領域
- 8 反射ミラー
- 9 ハーフミラー
- 10 集光・走査ミラー
- 11 集光・走査ミラー
- 12 液体の流れ
- 13 液面
- 14 走査

15 流路絞り

16 太陽光

17 太陽光集光器

18 反射ミラー

19 励起光の入射

20 励起用ランプ

21 レーザーロッド

22 レーザー共振器

23 取水口

24 パルスレーザー

25 集光レンズ

26 移動機構

27 試料台

28 被破碎物

29 衝撃波

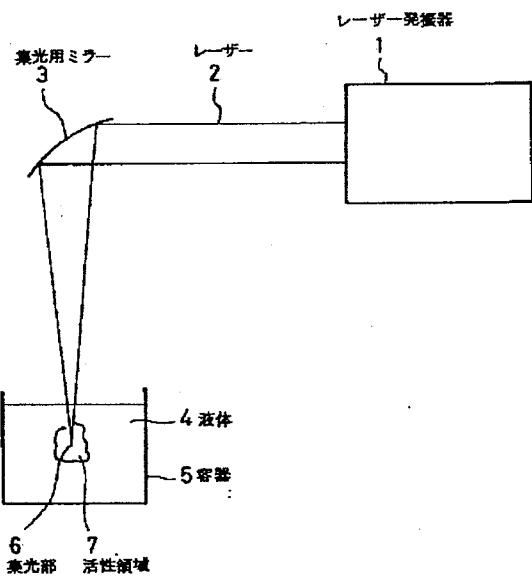
A 集光スポット

B プラズマ生成領域

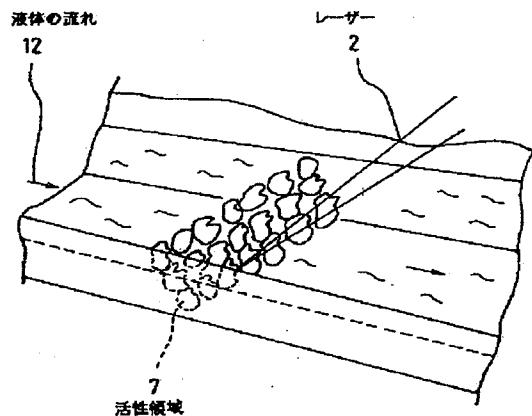
C ラジカル生成領域

D 衝撃波生成領域

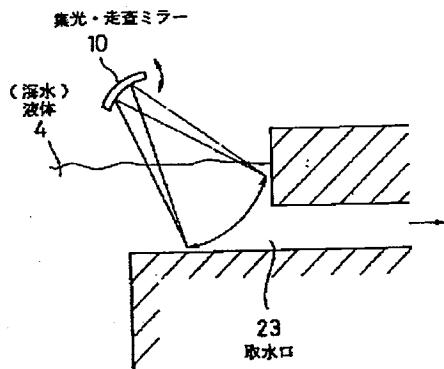
【図1】



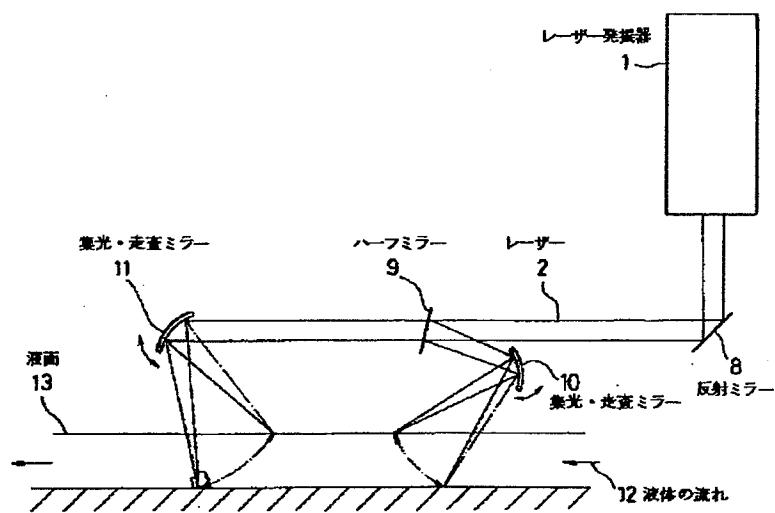
【図3】



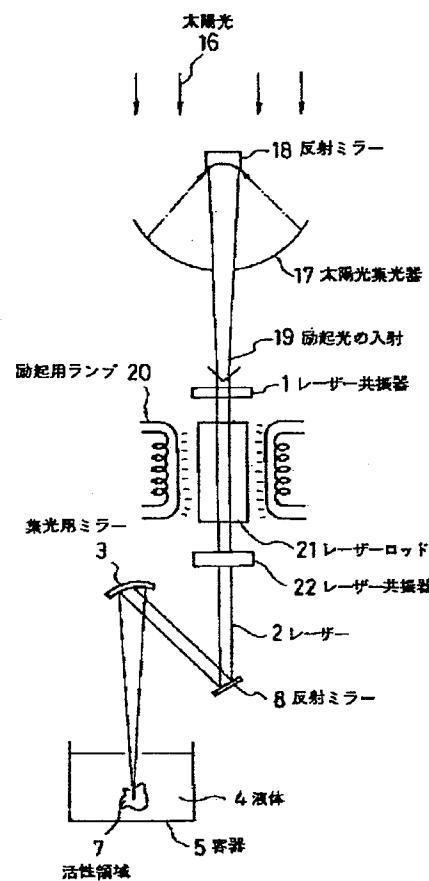
【図6】



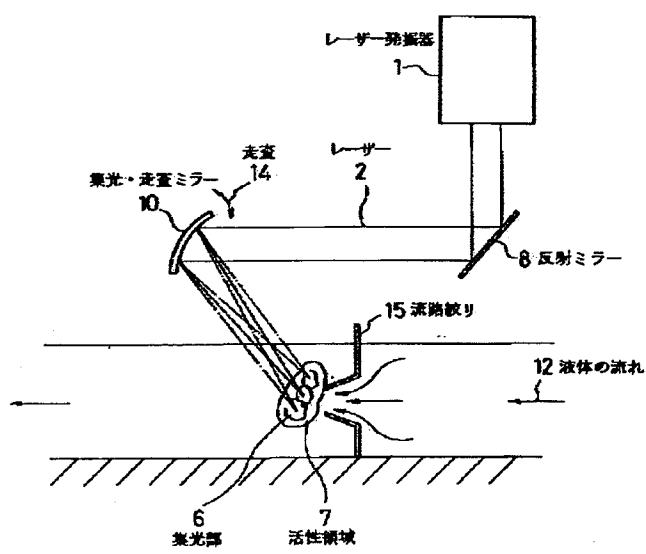
【図2】



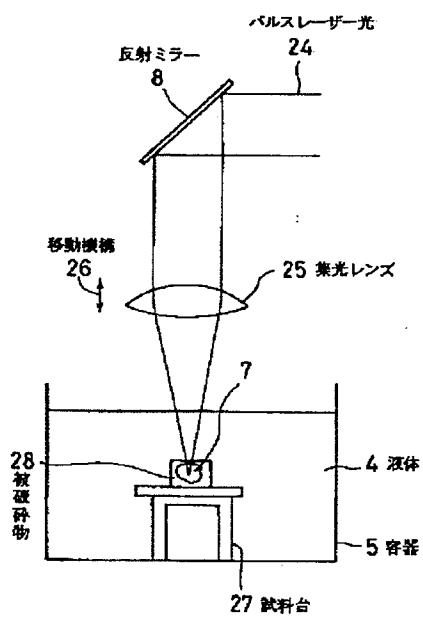
【図5】



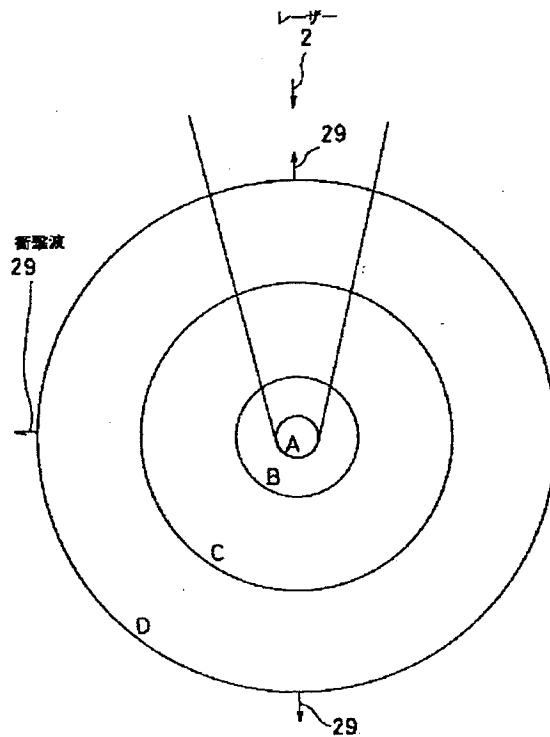
【図4】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 五十嵐 千秋
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 山内 和雄
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内
Fターム(参考) 4D037 AA12 AB03 BA16 BA18 BB01
4D059 BK11 BK13 BK23 BK24 BK25
CA21
4D067 CD05 GA20